

# **УРОК «ЕЛЕМЕНТИ ЗОННОЇ ТЕОРІЇ БУДОВИ ТВЕРДИХ ТІЛ. НАПІВПРОВІДНИКИ» В 11 КЛАСІ ЗА АКАДЕМІЧНИМ РІВНЕМ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ**

**Микола САДОВИЙ, Людмила ШЕХОВЦЕВА**

*У статі розглянуто проблему використання інтерактивних методів навчання напівпровідників у шкільному курсі фізики.*

*Ключові слова: інтерактивні методи навчання, структура уроку, електропровідність.*

*В статті розглядається проблема використання інтерактивних методів навчання на уроках фізики.*

Електродинаміка напівпровідників – один з найважливіших розділів сучасної фізики. Використання напівпровідників докорінно змінило не тільки промислові технології, але й побут і існування людства. Нові можливості спілкування та обміну інформацією вже не є дивиною, та сприймаються новим поколінням як належне. В цьому прискореному ритмі змін вчитель, як і завжди, повинен залишатися флагманом формування не тільки інтелектуального потенціалу учня, але й світоглядної картини, підпорядкованій вічним моральним цінностям.

Для того, щоб пояснити сутність явищ, які відбуваються у напівпровідниках потрібно впевнено оперувати знаннями з таких розділів сучасної фізики, як квантова фізика, електростатика, фізика твердого тіла тощо. Це накладає специфічні змістові та структурні умови до уроку вивчення напівпровідників у загальній школі.

В зв'язку з цим нами запропонована розробка уроку з теми розрахована на учнів 11-о класу загальних шкіл академічного рівня навчання фізики. У навчальному плані на вивчення теми передбачається три академічних години на тиждень. Ми пропонуємо розбити їх таким чином. Одну годину доцільно використати для розв'язування задач з попередньої теми у формі семінарського заняття чи лабораторної роботи, або ж як урок контролю знань. Дві наступні години використовуємо як спарені уроки наприкінці тижня. Саме на цих уроках є можливість розглянути новий матеріал порівняно великого обсягу, який потребує безпосередньої підтримки через розв'язання проблемних запитань та задач. Такий розподіл навантаження обумовлений обов'язковим самостійним доопрацюванням навчального матеріалу учнями вдома. За умови наявності у школі гуртка технічної творчості чи факультативу всередині тижня варто нагадати учням завдання надані для підготовки до такого уроку.

Метою статті є розглянути один з варіантів уроку з використанням інтерактивних методів навчання.

Вивчення змісту теми на спареному уроці ми пропонуємо розбити на п'ять змістовних блоків. До кожного блоку інформації розробляємо запитання для поточного моніторингу і визначення рівня засвоєння інформації. Визначені блоки об'єднані структурно-логічною схемою, яка складається з понять та зв'язків між ними, рис. 1.

Наприкінці уроку відбувається рефлексія з опорою на таку схему, запропоновану вчителем. Як частина домашнього завдання пропонується учням скласти власні індивідуальні структурно-логічні схеми. Такий

підхід на нашу думку сприяє творчій обробці отриманої інформації та, як наслідок, кращому її засвоєнню.

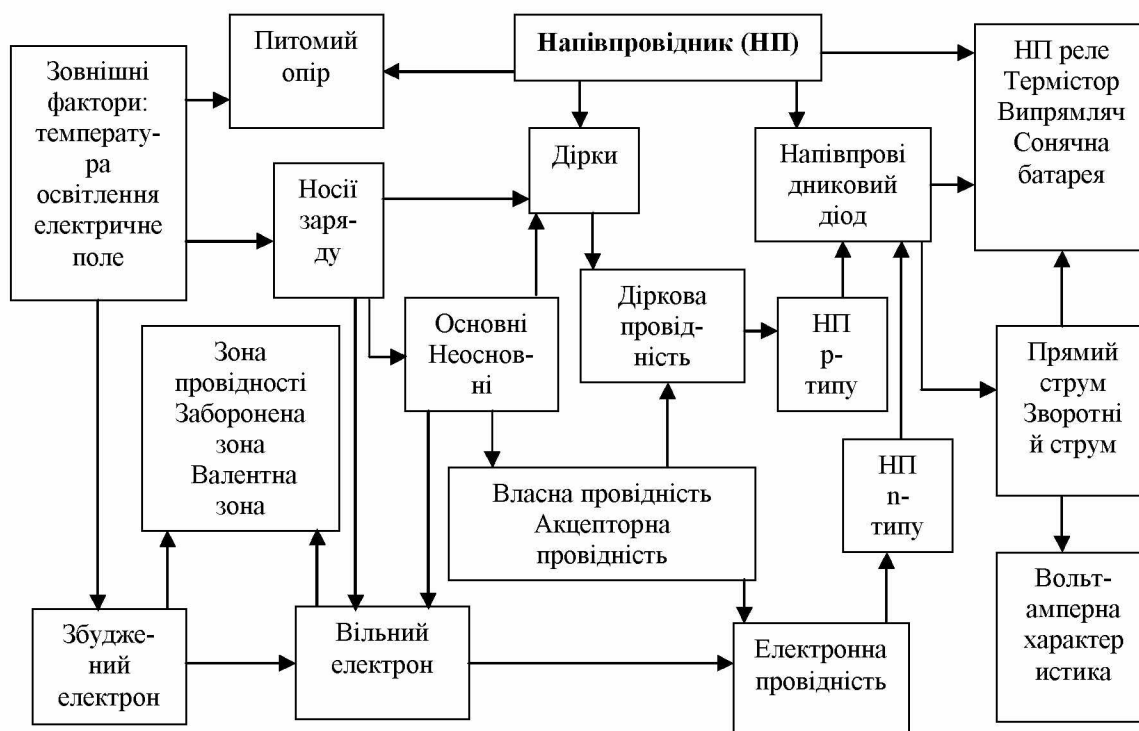


Рис. 1. Структурно-логічна схема теми.

Ми розробили один з варіантів уроку і приводимо окремі його елементи.

*Тема уроку:* Елементи зонної теорії будови твердих тіл. Напівпровідники.

Властивості та використання напівпровідників.

*Тип уроку:* Урок вивчення нового матеріалу.

*Обладнання:* плакат з таблицею Д. І. Менделєєва, комп'ютерна віртуальна модель таблиці Д. І. Менделєєва, дошка, відеопроєктор, демонстраційний набір кристалічних решіток, наочно-дидактичний матеріал, підручник.

Робочі місця учнів повинні бути обладнані таким чином, щоб було зручно як працювати за комп'ютером, так і робити записи до конспектів.

*Мета уроку: Дидактична:*

- закріпити набуту в 9 класі та розширити інформацію про напівпровідні речовини та їх властивості;
- сформулювати уявлення про зонну теорію будови твердих тіл;
- розглянути будову напівпровідників;
- ввести поняття власної та домішкової провідності напівпровідників;
- пояснити принцип дії р-n та р-n-p переходу;

– побудувати структурно-логічну схему розглянутого на уроці матеріалу.

*Розвиваюча:*

- формувати вмінь встановлювати причинно-наслідкові зв'язки;
- розвивати логічне мислення та творчі здібності учнів;
- забезпечити закріплення навичок на систематизації отриманої інформації;
- здійснити розвиток активності учнів на уроці;
- розвивати вміння працювати із джерелами інформації.

*Виховна:*

- продемонструвати гармонію будови логічних зв'язків у молекулярних зв'язках;
- показати можливість пізнання явищ природи;
- виховувати відповідальність та самостійність;
- розвивати комунікаційні компетенції у роботі з мікрогрупами.

*Методи навчання:* інтерактивні з використанням інформаційно-комунікаційних технологій.

*Структура уроку (макроструктурні елементи):*

1. Актуалізація чуттєвого досвіду та виявлення опорних знань учнів.
2. Мотивація навчальної діяльності щодо актуальності та важливості використання напівпровідників у науці, техніці, побуті.
3. Повідомлення теми, мети і завдань уроку.
4. Формування нових понять та способів дій з використанням комп'ютерних технологій віртуального експерименту.
5. Узагальнення набутих знань у вигляді зображення їх структурно-логічними схемами.
6. Систематизація навчального матеріалу.
7. Закріплення вивченого матеріалу.
8. Рефлексія.
9. Завдання додому.

У статі ми розглядаємо не всі, а визначальні макроеlementи уроку.

*Хід уроку:*

*І Актуалізація чуттєвого досвіду та виявлення опорних знань та умінь.*

Вчитель стимулює активну навчально-пізнавальну діяльність учнів, готує до роботи на уроці, формулює питання, які актуалізують опорні знання та уміння учнів з теми уроку.

На демонстраційному столі два учні збирають електричні кола для демонстрації носіїв зарядів у металах, електролітах та газах.

Один учень розв'язує задачу біля дошки на термоелектричну емісію та струм у вакуумі.

Одному з учнів запропоновано розглянути підготовлені плакати та з'ясувати механізм електропровідності у діелектриках.

Під час фронтального опитування учитель з'ясовує з учнями наступні знання:

1. Механізм формування ковалентного зв'язку.
2. Електропровідність провідників, електролітів.
3. Що називають електричним струмом у різних середовищах?
4. Які умови існування електричного струму?
5. Що є носіями зарядів у металах, розчинах, електролітах, газах?
6. Як залежить опір металів, електролітів, розчинів, газів від температури?

Учитель забезпечує роботу учнів діловому ритмі уроку, готує клас до активного сприймання навчального матеріалу якісно нової природи і змісту, активізує навчально-пізнавальну діяльність.

На основі відповідей учнів, які готували дослідні висновки робиться висновок щодо природи носіїв зарядів у провідниках, електролітах і газах. Узагальнення здійснюється з використанням віртуальних дослідів з використанням комп'ютерних програм через відеопроєктор.

За підсумками розв'язування задачі біля дошки з'ясовується механізм провідності у вакуумі. У цьому випадку для узагальнення знань використовується комп'ютерний варіант віртуального дослідів виникнення зарядів під час термодіфузії через відеопроєктор.

Узагальнюється відповідь учня за результатами розгляду таблиці щодо механізму провідності діелектриків та демонстрації віртуального дослідів виникнення внутрішнього електричного поля у діелектриках.

Учитель підбиває підсумки першого етапу уроку і з'ясовує проблемне питання: чи використовуються матеріали за провідністю, які розглянуті на уроці у мобільних телефонах, електронних мікросхемах, нанотехнологіях. Здійснюється поступовий перехід до мотивації навчальної діяльності на уроці.

## *II. Мотивація навчальної діяльності.*

Учитель продовжує попередню думку і ставить ряд проблемних питань щодо класу матеріалів, які ведуть себе специфічно у залежності від умов: освітленості, радіоактивності, температури, магнітного поля тощо. Робиться висновок, що для оволодіння новітніми технологіями виробництва новітньої техніки необхідно вивчити механізм провідності нового класу речовин.

## *III. Повідомлення теми, мети і завдань уроку.*

Після мотиваційного етапу уроку повідомляємо і записуємо на дошці тему уроку, визначаємо завдання уроку, які записуються справа чи зліва на дошці у стовпчик і не витирається до завершення уроку.

IV. Формування нових понять та способів дій з використанням комп'ютерних технологій та віртуального експерименту.

Реалізація цього елементу уроку здійснюється через розгляд п'яти блоків (вступна бесіда; визначення групи напівпровідникових елементів; з'ясування механізму провідності; домішкова і акцепторна провідність; напівпровідникові прилади). Ми подаємо окремі елементи методики реалізації вказаних блоків. Вчитель використовує наочно-дидактичний матеріал у вигляді паперових схем і таблиць або в електронному вигляді, розташований на комп'ютерах учнів.

Блок 1. Проводимо вступну бесіду. Підкреслює, що уже вивчили особливості протікання електричного струму в металах, електролітах, газах, вакуумі. Сьогодні ми познайомимось з новим класом речовин – напівпровідниками.

Переважає більшість речовин земної кори є високої якості ізолятори (бурштин, порцеляна), та добрі провідники (метали). Нагадуємо про кристалічну та молекулярну будову речовин, порівнюємо кристалічні ґратки.

Група	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	I	II											III	IV	V	VI	VII	VIII
Період																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo

Рис. 2. Періодична система елементів

З допомогою комп'ютерної програми демонструємо віртуальні досліди про механізм провідності металів, електролітів, газів та у вакуумі. Потім з допомогою електронних схем аналізуємо періодичну систему елементів Д. І. Менделєєва, виокреслюємо елементи, які складають основу перерахованих вище елементів. З допомогою комп'ютерної програми виділяємо відповідні групи елементів періодичної системи елементів і розглядаємо динамічну картину властивостей елементів, рис. 2.

Разом з учнями робимо висновок про особливу частину елементів періодичної системи, де на зовнішніх оболонках знаходиться по три, чотири та п'ять електронів, на таблиці виділено білим, жовтим та світло



синім кольором. З'ясовуємо сутність ковалентного зв'язку засобами ІКТ для цієї групи елементів розміщених в 2 - 6 групах таблиці Д. І. Менделєєва, рис. 3. Це хімічні елементи: В, С, Si, P, S, Ge, As, Se, Sn, Sb, Te, I.

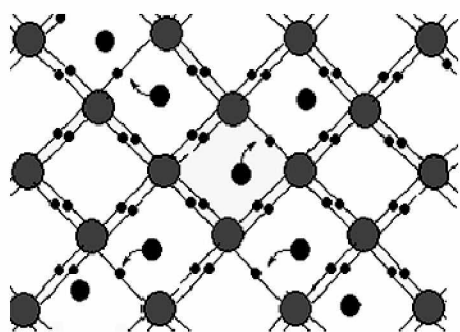


Рис. 3. Схема діркової провідності

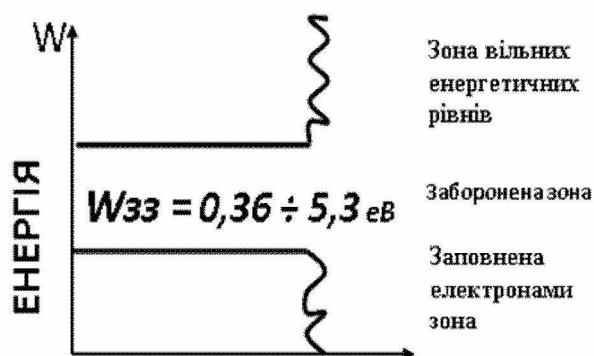


Рис. 4. Енергетичні зони

Потім виокремлюємо *складні напівпровідникові матеріали*, які мають напівпровідникові властивості та містять у собі два, три та більше хімічних елементи. Прикладом бінарних напівпровідників є InSb, InAs, InP, GaSb, GaP, AlSb. Крім того напівпровідниками є майже всі неорганічні речовини.

Потім додаємо інформацію історичного характеру. У 1838 році геній фізичного експерименту Майкл Фарадей виявив, що сіль срібла (аргентум сульфід), на відміну від металів, при нагріванні зменшує свій опір. У 1873 році англійський інженер Уїлбі Сміт проклав під водою ізольований селеном телеграфний кабель та визначив, що при денному світлі опір селену значно зменшується. Виявилося, що існує цілий клас речовин, опір яких значно зменшується, коли їх нагрівають чи освітлюють.

На початку 30-х років XX століття радянський вчений Абрам Іоффе виявив, що на опір напівпровідників суттєво впливають домішки.

Далі здійснюємо постановку досліду. З колекції мінералів беремо з напівпровідниковими властивостями свинцевий блиск – PbS і до його кінців кріпимо провідники, наприклад затискачами типу «крокодил». Складаємо просте коло з джерела струму 4-6 В, амперметра на 1 А, вимикача. Замикаємо вимикач і підігріваємо спиртівкою мінерал. Спостерігаємо зменшення опору мінералу. Аналогічно спостерігаємо зменшення опору селену з набору напівпровідників. Встановлюємо закономірність *характерну для напівпровідників: здатність різко змінювати опір під дією зовнішніх впливів, а також при додавання домішок*. За температур, наближених до абсолютного нуля ( $T \sim -273^{\circ}\text{C}$ ), напівпровідники поведуть себе як діелектрики, а за високих температур провідність напівпровідників наближається до металів. Закріплення

здійснюємо через постановку віртуального досліду з допомогою комп'ютерної програми.

*Блок 2.* Ставимо проблемне питання: як теоретично пояснити визначені вище закономірності? Відповідь на дане запитання дає *зонна теорія твердих тіл*, рис. 4. За допомогою віртуального досліду з'ясовуємо, що електрони в атомі, які розташовані на зовнішніх орбітах, зв'язані з ядром слабше, ніж електрони, що знаходяться на внутрішніх, близьких до ядра орбітах. Тому під дією сусідніх атомів або внаслідок інших причин зовнішні електрони можуть залишити свою орбіту, що спричинить за собою зміну енергетичного стану атома. У металах електрони, що звільнилися від внутріатомних зв'язків, одержали назву *вільних електронів*. За наявності зовнішнього електричного поля безладний рух вільних електронів у металах стає упорядкованим, спрямованим. У результаті виникає електричний струм.

Потім з допомогою віртуального досліду показуємо, що електрони в атомі займають певні місця навколо ядра, які називають дозволеними енергетичними рівнями і зображаються у вигляді орбіт. На першій внутрішній орбіті можуть розміщуватись не більш двох електронів, на наступних двох орбітах по вісім, на четвертій орбіті десять, на п'ятій вісім і т.д. Енергетичні рівні складають так звані *зони*. Найважливішими для визначення фізичних властивостей кристалу є *валентна зона* і *зона провідності*. Електрони, розташовані на зовнішніх орбітах атомів, називаються валентними електронами. Вони визначають хімічну активність речовини, тобто беруть участь у створенні хімічного зв'язку між атомами. *Валентна зона* – найвища заповнена електронами зона. *Зона провідності* – це зона вільних електронів. У напівпровідниках і діелектриках між валентною зоною і зоною провідності існує проміжна – *заборонена зона*. Особливість цієї зони є повна відсутність дозволених рівнів. Розкриваємо сутність і фізичний зміст кожної зони, способи переходу носіїв заряду із зони у зону, вводимо поняття ширини забороненої зони та її енергетичну величину, яку необхідно надати електрону, щоб перевести його зі зв'язаного стану у валентній зоні в зону провідності.

Учні відповідають на запропоновані питання та занотовують нові поняття у конспект у вигляді елементів структурно-логічної схеми.

*Блок 3. Природа провідності струму у хімічно чистих напівпровідниках.*

Розглядаємо проблему: яка природа провідності струму у хімічно чистих напівпровідниках. Таку *провідність* називають *власною*. Найбільш поширені у використанні в техніці напівпровідниками є Германій та Силіцій. Розглянемо будову Силіцію – елементу четвертої групи. Як елемент четвертої групи має чотири валентних електрони.



Кількість найближчих сусідів кожного атому теж дорівнює чотирьом. Атом Силіцію створює парно-електронний зв'язок з чотирма сусідніми атомами, рис. 5. У створенні цього зв'язку від кожного атому приймає участь по одному валентному електрону. В цілому плоска модель структури кристалу буде виглядати як на малюнку (таблиці або комп'ютера). Парні електрони колективізуються не тільки сусідніми атомами, але й усім кристалом. Тому валентні електрони не можуть переміщуватися по всьому кристалу. Парно-електронні зв'язки доволі міцні, у кристалі немає вільних носіїв зарядів і такий напівпровідник не пропускає струм.

При нагріванні або освітленні деякі валентні електрони руйнують зв'язок та стають вільними. Чим вище температура провідника, тим більше стає вільних електронів. Провідність напівпровідників, пов'язану з рухом вільних електронів, називають *електронною провідністю*. Вільне місце, яке виникло при відриві електрону називають *діркою*. Дірка має надлишковий позитивний заряд. Дірки, як і електрони, можуть мандрувати по всьому кристалу, але при цьому рухається не сама дірка, а валентний електрон, «перестрибує» на місце створеної дірки, а в тому місці, з якого «перестрибнув» електрон, створюється нова дірка. Провідність, обумовлена рухом дірок, називають *дірковою*, рис. 5.

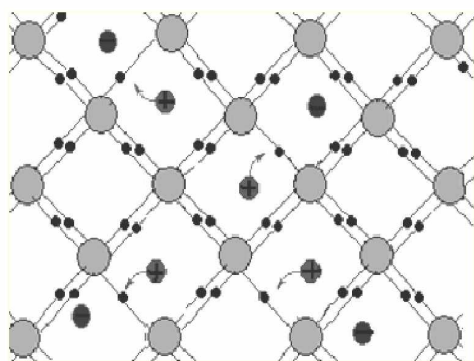


Рис. 5. Діркова провідність

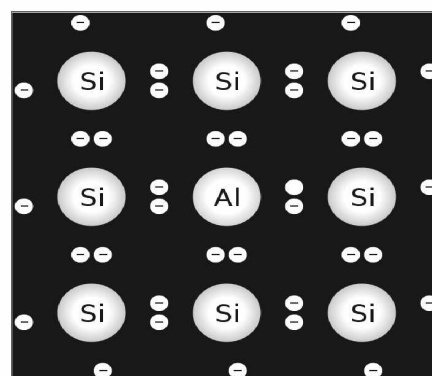


Рис. 6. Домішкова провідність

Учні відповідають на запропоновані питання та занотовують нові поняття у конспект у вигляді елементів структурно-логічної схеми:

**Блок 4. Особливості провідності напівпровідників за наявності в них домішок.**

Тепер розглянемо домішкову провідність. Домішки у напівпровідниках бувають двох видів: *донорними та акцепторними*. Що такий донор? (учні: той, хто щось віддає). А що може віддати атом? (учні: електрон). Вірно, атом може віддати електрон. Тоді яку домішку ми назвемо донорною? (учні: домішку, яка приймає електрони). Відповідно, яку домішку ми назвемо акцепторною? (учні: домішку, яка приймає електрони).

Розглянемо, що відбудеться у напівпровідниковому кристалі при внесенні донорної домішки. Додамо до Силіцію – елемент четвертої групи, домішку, елемент п'ятої групи – Арсен. Чотири валентних електрона Арсену створюють парно електронний зв'язок з чотирма атомами Силіцію. П'ятий валентний електрон Арсенію виявляється слабо зв'язаним з атомом, він легко відривається та стає вільним. У такому напівпровіднику вільних електронів набагато більше, ніж дірок.

Тут електрони є основними носіями зарядів, а дірки – неосновними. Такі напівпровідники з донорною провідністю називають *напівпровідниками n- типу* від слова negative – негативний.

Далі розглянемо, що відбудеться при додаванні акцепторної домішки. Додамо до Силіцію – елементу четвертої групи, елемент третьої групи – Алюміній. Ми бачимо, що Алюміній утворює три парноелектронних зв'язки з атомами Силіцію. Для утворення парноелектронного зв'язку з четвертим атомом Силіцію Алюмінію не вистачає електрона, в наслідок чого і виникає дірка. В напівпровіднику з акцепторною домішкою дірок більше, ніж електронів. Тепер вже дірки стають основними носіями зарядів, а електрони – неосновними. Такий напівпровідник з акцепторною провідністю називають *напівпровідником p- типу* від слова positive – позитивний. При додаванні домішки навіть у дуже малої кількості стрімко збільшується концентрація вільних носіїв зарядів та збільшується провідність напівпровідників.

Учні відповідають на запропоновані питання та занотовують нові поняття у конспект у вигляді елементів структурно-логічної схеми:

*Блок 5. Напівпровідниковий діод. Напівпровідникові прилади.*

У даній статті ми не розглядаємо даний блок навчального матеріалу.

*Висновки з даного дослідження і перспективи подальших досліджень у цьому напрямку.* Проблема формування науково обгрунтованої методики використання інтерактивних методів навчання є мало дослідженою на практичному рівні. Дослідження у такому напрямку є перспективним. Складання методичних посібників з використанням технології запровадження конкретних фрагментів віртуальних дослідів є нагальним для учителів середніх навчальних закладів освіти.

#### БІБЛІОГРАФІЯ:

1. Садовий М. І. : Становлення та розвиток фундаментальних ідей дискретності та неперервності у курсі фізики середньої школи.– Кіровоград : Прінт Імідж, 2001–396 с.
2. Левинштейн М. Е., Силин Г. С. : Знакомство с полупроводниками./ Главная редакция физико-математической литературы, (Библиотечка «Квант» Выпуск 33), 1984.
3. Модель експериментальної установки у програмі “Electronics Workbench”

**ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

**Садовий Микола Ілліч** – доктор педагогічних наук, професор кафедри фізики та методики її викладання Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка.

**Шеховцева Людмила Євгенівна** – вчитель фізики Зеленівської загальноосвітньої середньої школи Кіровоградської області.